

"Zur Anwendung der Sicherheitstheorie bei Stabilitätsuntersuchungen im Stahlbetonbau"

Veröffentlichung in der Festschrift anlässlich der Emeritierung von Prof. Franz, Karlsruhe

1968

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT ZU BRAUNSCHWEIG

Prüfamt und Forschungsinstitut für Baustoffe und Bauarten

VI
198

Zur Anwendung der Sicherheitstheorie bei Stabilitätsuntersuchungen im Stahlbetonbau

von
Karl Kordina

1. Einleitung

Während DIN 1045, Ausgabe 1959, die Einhaltung einer bestimmten Sicherheitszone zwischen Gebrauchs- und Erschöpfungszustand durch Angabe zulässiger Spannungen herbeiführt, wird im Entwurf der Neufassung von DIN 1045, März 1968, für die Bemessung bei Biegung mit und ohne Längskraft auf ein "Traglastverfahren" umgestellt und die Wahrung bestimmter, globaler Sicherheitsbeiwerte gefordert. Bei dem alten System der Bemessung nach zulässigen Spannungen traten in der Tätigkeit des konstruierenden Ingenieurs Fragen nach der Sicherheit des Bauwerks nicht vorrangig und deutlich erkennbar hervor; der Sicherheit war vielmehr durch Festlegung der zulässigen Spannungen zusammen mit den Rechenannahmen für die Lastschnittgrößen bereits genüge getan.

Dies änderte sich, als mit DIN 4227 für die Bemessung von Spannbetonbauteilen auch ein Bruchsicherheitsnachweis vorgeschrieben wurde. In dieser Norm tauchte erstmals der Begriff der Bruchschnittgrößen auf, deren rechnerischer Wert aus den Schnittgrößen unter Gebrauchslasten durch Vergrößerung mit einem konstanten Faktor, dem Sicherheitsbeiwert, zu ermitteln und den aufnehmbaren inneren Schnittgrößen gegenüberzustellen war. Dies stellt eine sehr weitgehende Vereinfachung der Sicherheitstheorie dar, deren Anwendbarkeit begrenzt ist, worauf mehrfach hingewiesen wurde. [1, 2, 3]

Mit der Einführung des Traglastverfahrens zur Bemessung im Stahlbetonbau, wie im Entwurf der Neufassung von DIN 1045 [4] vorgesehen, wird der Anwendung der Sicherheitstheorie auf baupraktische Probleme erhöhte Bedeutung zukommen. Dies zeigt sich besonders beim Stabilitätsnachweis ausmittig beanspruchter Stahlbetondruckglieder, der einen Tragsicherheitsnachweis

für Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung vorsieht, also einen Nachweis unter Berücksichtigung der durch die Verformung zusätzlich auftretenden Beanspruchungen des Bauteils bei erhöhten Lasten.

Gegenstand der vorliegenden Untersuchung ist die Frage, ob die bisher gebräuchlichen Vereinfachungen der Sicherheitstheorie bei dieser Art von Nachweisen statthaft sind; insbesondere soll geprüft werden, welche Auswirkungen auf die Bemessung die Anwendung eines globalen Gesamtsicherheitsbeiwertes hat, der als Lasterhöhungsfaktor auftritt, gegenüber der Benutzung von Teilsicherheitsbeiwerten.

2. Theorie der Unsicherheiten; Sicherheitsbeiwert und Versagenswahrscheinlichkeit.

Die Bemessung von Bauteilen beruht grundsätzlich auf der Gegenüberstellung der rechnerisch ermittelten Beanspruchung und der -zumeist ebenfalls rechnerisch ermittelten- Beanspruchbarkeit; beide Vergleichsgrößen werden durch eine Reihe von Unsicherheiten beeinflusst. Bei Traglastverfahren ist es gebräuchlich, Beanspruchung und Beanspruchbarkeit als Schnittgrößenkombination aus äußeren Lasten und als - innere - Bruchschnittgrößen darzustellen, also als Normal- und Querkräfte (N_a, N_i, Q_a, Q_i) sowie als Biege- und Torsionsmomente ($M_a, M_i; T_a, T_i$)

Basler [3] nimmt eine Klassifizierung der Unsicherheiten entsprechend der Klassifizierung der Fehler nach den Kriterien der Gauß'schen Fehlertheorie vor, wonach grobe, systematische und zufällige Fehler unterschieden werden. Grobe Fehler können und müssen durch entsprechende Sorgfalt vermieden werden; dagegen ist den systematischen und zufälligen Unsicherheiten durch das Bemessungsverfahren Rechnung zu tragen. Mit gewissen Einschränkungen läßt sich sagen, daß die systematischen Unsicherheiten im wesentlichen durch die Rechenmethoden, Rechenannahmen und -vereinfachungen auf die Vergleichsgrößen Beanspruchung und Beanspruchbarkeit übertragen werden, während die

zufälligen Unsicherheiten primär als willkürliche Streuungen der Materialfestigkeit und Querschnittsabmessungen sowie der Lastintensität in die Vergleichsgrößen eingehen.

Zufällige Verteilungen lassen sich mit den Hilfsmitteln der Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie erfassen und analysieren. Für den Sonderfall, daß die zufälligen Einflußgrößen, die auf Beanspruchung und Beanspruchbarkeit einwirken, voneinander unabhängig sind, hat Basler den Zusammenhang zwischen dem nominalen Sicherheitsfaktor, der nominalen Sicherheitszone und der Versagenswahrscheinlichkeit beschrieben. Es zeigt sich, daß die Versagenswahrscheinlichkeit wohl die am besten geeignete Größe zur Beschreibung der Sicherheit eines Bauteils ist.

Versucht man, die Versagenswahrscheinlichkeit als Ausgangsgröße für die Bemessung im Stahlbetonbau zu verwenden, so ergeben sich eine Reihe nicht überwindbarer Schwierigkeiten, weil Streuungen der Beanspruchbarkeit auch die Beanspruchungen beeinflussen können, also nicht stets unabhängig voneinander sind, oder aber weil sich zufällige Schwankungen in den abgeleiteten Vergleichsgrößen Beanspruchung und Beanspruchbarkeit anders auswirken als in den Ursprungsgrößen wie Materialfestigkeit, Querschnitt usw.. Diese Zusammenhänge sollen in Bild 1 und 2 erläutert werden, wobei auf den symmetrisch bewehrten Rechteckquerschnitt Bezug genommen wird. Diese Einengung der Betrachtung erfolgt deswegen, weil für Druckglieder eine beidseitige B-ewehrung grundsätzlich vorgesehen ist, und am häufigen Sonderfall der symmetrischen Bewehrung das typische Tragverhalten gut wiedergegeben werden kann.

Nach den Festlegungen des Entwurfes zu DIN 1045 ergibt sich im rechnerischen Traglastzustand für die inneren Bruchschnittgrößen N_1 und M_1 eines symmetrisch bewehrten Rechteckquerschnitts, für seine Beanspruchbarkeit also, der in Bild 1 für zwei unterschiedliche Betonfestigkeiten dargestellte Verlauf. Man erkennt, daß das bei reiner Biegung aufnehmbare Moment praktisch nicht von der Betonfestigkeit abhängt; demzufolge ist auch die abgeleitete Vergleichsgröße Moment M_1 nicht beeinflusst von den Streuungen, mit denen die Ursprungsgröße Betonfestigkeit behaftet

./.

ist. Dies gilt augenscheinlich aber nicht für mittige Druckbeanspruchung; hier wird die Beanspruchbarkeit von den Festigkeitsstreuungen sowohl des Stahls als auch des Betons beeinflusst. Für alle anderen Schnittgrößenkombinationen zwischen reiner Biegung und mittigem Druck ergibt sich eine andere Auswirkung der ursprünglichen Streuungen auf die abgeleiteten Größen N_1 und M_1 . Dieser Umstand dürfte die mathematische Erfassung und Analyse der Gesamtzusammenhänge nicht unerheblich erschweren oder gar unmöglich machen.

In Bild 2 ist der Zusammenhang zwischen der resultierenden Normalkraft N und ihrer Exzentrizität $e = M/N$ für eine Betonfestigkeit und den Bild 1 entsprechenden Grundlagen dargestellt. Werden zur Bemessung nicht - wie sonst üblich - Normalkraft und Biegemoment verwendet, sondern Normalkraft und ihre Exzentrizität, so läßt sich aus Bild 2 ablesen, welchen Einfluß eine Abweichung der Querschnittsachse von ihrer beabsichtigten planmäßigen Lage auf die Sicherheit hat. Weicht die Bezugsachse für die Exzentrizität der inneren Normalkraft um den zufälligen Wert de von ihrer planmäßigen Lage ab, die mit der Bezugsachse für die äußere Normalkraft zusammenfallen sollte, so ergibt sich eine Abweichung dN_i der inneren Normalkraft, deren Größe

$$dN_i = \frac{\partial N_i}{\partial e} \cdot de$$

ist. Der Gradient $\frac{\partial N_i}{\partial e}$ ist groß für kleine Exzentrizitäten e und nähert sich mit zunehmender Exzentrizität dem Wert Null. Das bedeutet, daß eine Abweichung der Querschnittsachse von ihrer Planlage großen Einfluß auf die Sicherheit und die Bemessung bei zentrischer Druckbeanspruchung hat; hingegen keinen Einfluß bei reiner Biegebeanspruchung. Die gleiche Tendenz des Einflusses war zuvor auch für die Betonfestigkeit festgestellt worden.

3. Die Einführung zusätzlicher Ausmittigkeiten bei überwiegend auf Druck beanspruchten Bauteilen.

Es wird auch ohne eingehende Beweisführung als notwendig angesehen, daß eine um so größere nominale Sicherheit gefordert werden muß, je unsicherer die Ermittlung der Vergleichsgrößen "Beanspruchung" und "Beanspruchbarkeit" erfolgt. Während die Sicherheit einer Bemessung für reine Biegung bei symmetrischer Bewehrung unbeeinflusst bleibt von Streuungen der Betonfestigkeit oder der Lage der Bezugsachse, wird die Bemessung für Biegung mit Achsdruck um so mehr von diesen Baustoffunsicherheiten beeinflusst und somit selbst um so unsicherer, je mittiger die Last angreift. Demgegenüber hat die Lage der Bewehrung gegenläufigen Einfluß: ihre Lage zur Bezugsachse der Schnittgrößen hat keinen Einfluß bei mittigem Druck, wohl aber bei reiner Biegung. Trotzdem bleibt - insgesamt gesehen - der Beanspruchungszustand "mittiger Druck" unsicherer als der bei "reiner Biegung". Hieraus wäre zunächst zu folgern, daß einer Bemessung für mittigen Druck ein größerer nominaler Sicherheitsfaktor zuzuordnen ist als für den Fall der reinen Biegung, wenn beide Beanspruchungszustände mit gleicher Versagenswahrscheinlichkeit bemessen werden sollen.

Der Entwurf zu DIN 1045 sieht einen gegenüber $\nu = 1,75$ (reine Biegung) auf $\nu = 2,1$ vergrößerten nominalen Sicherheitsfaktor für die Bemessung bei mittigem Druck vor. Dieser Vorschlag geht auf Rüsç zurück und deckt sich insoweit mit den oben begründeten Sicherheitsvorstellungen; er unterscheidet sich jedoch hinsichtlich seiner Begründung: Rüsç schlägt eine Erhöhung des Sicherheitsfaktors wegen der Gefahr eines unangekündigten Bruches vor, dessen Schadensfolgen unvergleichlich größer erwartet werden müssen als bei einem Versagen mit ausreichender Vorankündigung, weil auf Grund der Vorankündigung rechtzeitig

Schutzmaßnahmen ergriffen werden können. Als Kriterium für die Vorankündigung dient die im Bruchsicherheitsnachweis rechnerisch ausgenutzte Stahlzugdehnung, wobei eine Dehnung von $\epsilon \geq 0,003$ als zu wahrnehmbarer und alarmierender Rißbildung führend angesehen wird. Im Bereich $0,003 > \epsilon > 0$ steigt $\sqrt{}$ linear von 1,75 auf 2,1 an.

Diese an sich sehr einfache aber willkürliche Festlegung für Größe und Verlauf von $\sqrt{}$ kann für die Praxis zu erheblichen Schwierigkeiten führen, weil der Sicherheitsbeiwert für alle nicht-tabellierten Bemessungsaufgaben erst nach Ermittlung der Bruchschnittgrößen anhand der hierbei ausgenützten Querschnitts-Randdehnungen bzw. der Stahldehnung endgültig bestimmbar ist. Dies könnte im Einzelfall zu mühsamen Iterationsrechnungen führen. Um dies zu vermeiden, wird vorgeschlagen, statt einer Vergrößerung des Sicherheitsbeiwertes eine zusätzliche Exzentrizität einzuführen, die der erhöhten Sicherheitsanforderung nachkommt. Dabei kann mit Vorrang das Ziel verfolgt werden, die zusätzliche Exzentrizität so zu wählen, daß die im Neufassungsentwurf zu DIN 1045 enthaltenen globalen Sicherheitsbeiwerte möglichst genau wiedergegeben werden.

Da aber die Vergrößerung des Sicherheitsbeiwertes dort weitgehend willkürlich erfolgt ist, sollen auch vereinfachte Lösungsansätze verfolgt werden, die nur für mittigen Druck mit dem DIN-Entwurf übereinstimmen, sonst aber abweichen.

- 3.1 Bild 3a zeigt einen Vorschlag, der eine zusätzliche Exzentrizität nur im Druckbruchbereich vorsieht, welcher für symmetrisch bewehrte Rechteckquerschnitte oberhalb $N = 0,19 \cdot b \cdot d \cdot \beta_w$ anzunehmen ist. Es wurden in Bild 3a die zulässigen inneren Schnittgrößen N_1 und M_1 nach den Festlegungen des Entwurfes zu DIN 1045 mit veränderlichem Sicherheitsbeiwert $1,75 < \sqrt{ } < 2,1$ und die ent-

sprechenden Schnittgrößen für einen konstanten Sicherheitsbeiwert $\gamma = 1,75$ aber mit dem Zusatzmoment

zus $\frac{M}{b d^2 \cdot \beta_w} = 0,13 \cdot \left(\frac{N}{b d \cdot \beta_w} - 0,19 \right)$ gegenübergestellt. Die

Abweichungen zwischen beiden Lösungen sind geringfügig.

Dabei ist hervorzuheben, daß das Zusatzmoment z_{usM} aus der Druckkraft N unter Gebrauchslast unmittelbar - d.h. ohne vorherige Ermittlung einer Bruchschnittgröße - bestimmt werden kann. Die Unterteilung des Interaktionsdiagramms für N und M in einen Druck- und Zugbruchbereich hätte auch den Vorteil, eine eindeutige Abgrenzung zu Bauteilen mit "überwiegender Biegung" zu schaffen, - was bislang im vorliegenden Neufassungs-entwurf fehlt und als Mangel, beispielsweise bei der Festlegung von Grenzbewehrungen, empfunden wird.

Zwei Möglichkeiten vereinfachter Lösungen sind in Bild 3 b dargestellt: hier wurden die Auswirkungen einer Mindestexzentrizität - ähnlich den Bemessungsvorschriften der U.S.A. [5] - mit jenen einer Zusatzexzentrizität verglichen, - wie sie beispielsweise in den Bemessungsvorschriften der Niederlande [6] festgelegt ist. Beiden Lösungsansätzen wurde wieder der Entwurf DIN 1045, Neufassung, gegenübergestellt. Der Ansatz einer Mindestausmittigkeit führt gegenüber dem DIN-Entwurf im Druckbruchbereich zu etwas höheren zulässigen Schnittgrößen, doch bleibt die Erhöhung innerhalb der Grenzen, die durch den Quotienten $2,1 / 1,75 = 1,20$ ausgedrückt werden. Die Zusatzausmittigkeit führt demgegenüber zu einer unerwünschten Abminderung der zulässigen Schnittgrößen vor allem im Biegezugbereich, wenn sie für mittigen Druck voraussetzungsgemäß mit dem DIN-Entwurf übereinstimmende Ergebnisse bringen soll.

Von den beiden hier erläuterten vereinfachten Lösungsansätzen verdient der Vorschlag einer Mindestausmittigkeit den Vorzug,

weil er in der Anwendung bestechend einfach ist. Die Abweichungen gegenüber dem DIN-Entwurf sind nicht schwerwiegend und könnten durch eine Herabsetzung der rechnerisch ausnutzbaren Betongüte auf einfache Weise reduziert werden, - was im übrigen auch im U.S.A. Standard [5] vorgeschrieben wird, um der Erfahrung gerecht zu werden, daß die Betongüte stehend an Ort hergestellter Stahlbetonstützen stets etwas schlechter ausfällt als die waagrecht liegender Bauteile, wie Platten oder Balken.

Um Mißverständnissen an dieser Stelle zuvorzukommen, ist es angebracht, darauf hinzuweisen, daß die hier diskutierten Zusatzexzentrizitäten oder Zusatzmomente in keiner Weise der sogenannten ungewollten Ausmittigkeit oder einem Zusatzmoment ΔM nach Theorie II. Ordnung im Stabilitätsnachweis entsprechen und deshalb auch nicht mit diesen Größen verwechselt werden dürfen. Sie gehen daher auch nicht in eine Verformungsrechnung ein!

- 5.2 Die deutschen Vorschriften enthielten bisher Ansätze für sog. ungewollte Ausmittigkeiten e_u , die entweder gesondert im Rahmen eines Stabilitätsnachweises, also in der Verformungsrechnung, berücksichtigt werden mußten oder in dem vorgeschriebenen Knick-sicherheitsnachweis eingearbeitet waren. Auch DIN 1045-Entwurf enthält einen Ansatz für eine ungewollte Ausmittigkeit e_u (vergl. [4], Gl. 12 und 13). Es leuchtet ein, daß mit zunehmender Schlankheit sowohl die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Imperfektionen (Abweichungen der Stabachse von ihrer geplanten Form oder Lage; Schiefstellungen; elastische, nicht berücksichtigte Fundamentverdrehungen usw.) als auch ihre Auswirkungen auf die Traglast anwachsen. Zu prüfen wäre hier, wie am einfachsten die

Auswirkungen solcher Imperfektionen im Stabilitätsnachweis berücksichtigt werden können.

Für die Bemessung einfacher Hoch- und Industriebauten ist vermutlich ein einfacher Ansatz für e_u am bequemsten; außergewöhnliche Ingenieurbauwerke sollten hingegen stets "nach besonderem Nachweis" bemessen werden, wobei Imperfektionen als geometrische Abweichungen in der tatsächlich zu erwartenden Größe zu berücksichtigen wären. In jedem Falle ist die Größe von e_u im Übereinstimmung mit der insgesamt zugrunde liegenden Sicherheitstheorie festzulegen.

Nicht zu vergessen ist, daß für die wirklichkeitsnahe Abschätzung des Kriecheinflusses die Festlegung eines Mindestwertes e_u notwendig ist (vgl. 4, Abschn. 17.2.3.2); dies erscheint deswegen nötig, um auch bei planmäßig mittig belasteten Druckgliedern die Berechnung von Kriecheausbiegungen dem tatsächlichen Verhalten anzunähern.

4. Die Anwendung der Sicherheitstheorie durch Einführung von Teilsicherheitsbeiwerten

Es wurde bereits erläutert, daß Unsicherheiten in den Ursprungsgrößen zwar verhältnismäßig leicht erfaßt werden können, aber im Regelfalle nicht zu affinen Unsicherheiten in den abgeleiteten Größen führen, die für die Bemessung als Beanspruchung und Beanspruchbarkeit benötigt werden; die Folge ist eine weitgehende Koppelung der einzelnen Unsicherheiten in nichtlinearen Gleichungssystemen. Es kann deshalb auch nicht erwartet werden, daß das Problem ohne weitgehende Vereinfachung mathematischen Untersuchungsmethoden zugänglich gemacht und gelöst werden kann; es besteht somit heute noch keine Möglichkeit, die Bemessung ausschließlich nach dem Kriterium der Versagenswahrscheinlichkeit durchzuführen; alle Ansätze hierzu sind zusätzlich auch auf Beobachtung und Erfahrung angewiesen, selbst dann wenn umfassendes statistisches Material zur Verfügung steht. Für die praktische Bemessung erscheint es aber zweckmäßig, eine Formulierung der Sicherheitstheorie zu verwenden, die weniger weitgehend als in DIN 4227 ^{oder 1045 E/} vereinfacht ist und den Zusammenhang mit den allgemeinen Sicherheitsanforderungen noch erkennen läßt.

Ein solcher Versuch wird in den Empfehlungen des Europäischen Beton-Komitees (CEB) [7] unternommen, wo für die wichtigsten Einflußgrößen Unsicherheitsfaktoren angegeben werden, die mit gewissen Einschränkungen als relative Streubreiten dieser Größen verstanden werden können. Im Bereich einer Sicherheitstheorie können diese ~~Korrektur~~ Faktoren somit auch als Teilsicherheitsbeiwerte (TSB) aufgefaßt werden, deren Berücksichtigung zu den extremalen Bemessungsschnittgrößen führt. Die Faktoren werden getrennt für Lasten und Baustoffgüten angegeben; die Lastbeiwerte bedeuten nicht in jedem Falle eine Vergrößerung aller Lasten; der ungünstigste Belastungszustand kann so zusammengesetzt sein, daß nur einige Lastanteile (z.B. Windlasten) mit dem oberen Wert

ihres Streubereiches eingesetzt werden, andere dagegen (Eigen-
gewicht) mit ihrem unteren Grenzwert. Für die hier behandelte
Aufgabe ist es nicht erforderlich, diesen Abschnitt der Empfeh-
lungen des CEB ausführlich wiederzugeben; es genügt, die wich-
tigsten Prinzipien zusammengefaßt darzustellen:

Danach werden für die beiden Ursprungsgrößen Last und Material-
festigkeit Streubreiten definiert und unterstellt, daß hierdurch
auch Unsicherheiten in der Querschnittsausbildung und -größe
sowie Abweichungen von der Planlage hinreichend und zutreffend
erfaßt werden können. Der Streubereich für die Lastwirkungen wird
in die Anteile (Teilsicherheitsbeiwerte) v_{L1} und v_{L2} zerlegt.
 v_{L1} beschreibt die Streuungen in der Lasthöhe, v_{L2} steht für eine
Reihe anderer, im einzelnen nicht gesondert erfaßbarer Einflüsse,
wie idealisierte Entwurfsannahmen, vereinfachte Rechenmethoden
und Folgen von Ausführungsmängeln. Die Berücksichtigung einer
ungewollten Ausmittigkeit e_u ist im CEB noch nicht abschließend
geklärt worden; hier wird die Auffassung vertreten, daß e_u als
Ausdruck für eine Imperfektion zusätzlich zu v_{L2} berücksichtigt
werden muß. Der Streubereich der Materialgüte wird ebenfalls
durch zwei Beiwerte beschrieben: v_{M1} wird für die mögliche Ab-
weichung der mittleren Bauwerksfestigkeit von der Sollfestigkeit
gesetzt und v_{M2} erfaßt - zusätzlich - den Abfall der Festigkeit
an örtlich begrenzten Stellen gegenüber der Bauwerksfestigkeit.

Eine Vergrößerung der Sicherheit mit Rücksicht auf die Schadens-
folgen oder die tatsächliche Gefährdung durch die Konstruktion, -
wofür die Vorankündigung des Bruches oder der Grad der sta-
tischen Unbestimmtheit maßgebend sind, - könnte durch eine
Vergrößerung der angenommenen Variationsbreiten (Beiwerte v_L
und v_M) erzielt werden; der geringeren Wahrscheinlichkeit des
gleichzeitigen Zusammentreffens mehrerer Lastwirkungen in
extremer Größe müßte allerdings durch Verringerung der
Faktoren v_L entsprochen werden.

Wie die Bemessung des einfachsten Stabilitätsfalles, der ausmittig belasteten Stütze mit gleich großen Endexzentrizitäten, im Sinne der Empfehlungen des CEB im Prinzip durchzuführen wäre, wird nachstehend beschrieben. Vernachlässigt man den Einfluß einer örtlichen Fehlstelle auf die Verformung der Stütze, was allgemein möglich ist [8], so sind die Beanspruchungen für ν_{L1} -fach erhöhte Lasten zu ermitteln, wobei die Stabverformungen unter Voraussetzung einer $1/\nu_{M1}$ -fach verringerten Materialgüte berechnet werden. Die so erhaltenen Beanspruchungen sind ν_{L2} -fach zu vergrößern und der Beanspruchbarkeit, also den Bruchschnittsgrößen, gegenüberzustellen, die unter Voraussetzung einer um $1/(\nu_{M1} \cdot \nu_{M2})$ -fach verringerten Materialgüte aufgenommen werden können. Dies kann in Form einer symbolischen Gleichung ausgedrückt werden:

$$\begin{aligned} \nu_{L2} \cdot S_a \left[\begin{array}{l} \nu_{L1} \cdot \text{Lasten im Gebrauchszustand} \\ \text{Verformungsrechnung : Baustoffgüte } \frac{\beta}{\nu_{M1}} \end{array} \right] &\leq \\ &\leq S_1 \left[\begin{array}{l} \text{Baustoffgüte} \\ \frac{\beta}{\nu_{M1} \cdot \nu_{M2}} \end{array} \right] \end{aligned} \quad \text{Gl. (1)}$$

oder in verkürzter Form:

$$\nu_{L2} \cdot S_a \left[\nu_{L1} \cdot L \left(\frac{\beta}{\nu_{M1}} \right) \right] \leq S_1 \left[\frac{\beta}{\nu_{M1} \cdot \nu_{M2}} \right] \quad \text{Gl. (1a)}$$

Werden die Vorschläge des CEB konsequent verfolgt und werden der Vollständigkeit halber auch die Ausmittigkeiten e_o und e_u sowie die Vorspannung berücksichtigt, ergibt sich unter Bezug auf [1, 2] folgende Form der Gleichung 1:

$$\begin{aligned} \nu_{L2} \cdot S_a \left[\nu_{L1} \cdot L \left(e_u ; \frac{R_{\text{Beton}}}{\nu_{M1}} ; \frac{R_{\text{Stahl}}}{\nu_{M1}} \right) \right] &\leq \\ &\leq S_1 \left[\nu_{L2}^{\pm 1} \cdot V ; e_o ; (F - F_o) ; \frac{R_{\text{Beton}}}{\nu_{M1} \cdot \nu_{M2}} ; \frac{R_{\text{Stahl}}}{\nu_{M1} \cdot \nu_{M2}} \right] \end{aligned} \quad \text{Gl. (1b)}$$

In Gleichung 1, 1a, 1b bedeuten:

| | |
|-----------|--|
| S_a | Beanspruchung |
| S_1 | Beanspruchbarkeit |
| L | <i>äußere</i> Lasten; Lastschnittgrößen in ungünstigster Kombination |
| V | Vorspannung |
| V_{L1} | Unsicherheit in der Lasthöhe |
| V_{L2} | Unsicherheit in der Ermittlung der Lastschnittgröße |
| V_{M1} | Unsicherheit der Baustoffgüte, allgemein |
| V_{M2} | Unsicherheit, bedingt durch örtliche Fehlstelle |
| β | Baustoffgüte |
| e_u | ungewollte Ausmittigkeit, Imperfektion |
| e_o | Mindest- oder Zusatzausmittigkeit |
| $F - F_o$ | Mindest-Querschnittsfläche |

In den symbolischen Gleichungen 1 wurden Zwangeinwirkungen nicht gesondert angeführt; es wird hier von der Tatsache ausgegangen, daß Zwang jener Teil der Beanspruchung ist, der aus behinderter oder aufgezwungener Verformung herrührt, wobei in jedem Einzelfall zu klären ist, wie und ob überhaupt die Zwangwirkung neben der äußeren Last zu zusätzlicher Beanspruchung führt.

Über die Größe der vier einzelnen Teilsicherheitsbeiwerte γ soll hier nicht diskutiert werden; für ein Zahlenbeispiel werden weiter unten Annahmen festgelegt. Hier soll dagegen zur Frage der in die Rechnung einzuführenden Betongüte Stellung genommen werden:

Wie schon mehrfach festgestellt [8], wäre für den Verformungsnachweis, der die gesamte Stablänge umfaßt, nicht eine Fraktile, sondern der Mittelwert der Betongüte heranzuziehen. Trotzdem wird im Entwurf zu DIN 1045 [4] auch für Verformungsrechnungen vom Fraktilenwert B_n ausgegangen. Soweit Stabilitätsnachweise betroffen sind, könnte hierfür als Begründung - neben anderen Überlegungen, vergl. [8] - der Umstand herangezogen werden, daß die Betongüte stehend am Ort hergestellter Druckglieder i.a. relativ schlechter ausfällt. Wenn diese Annahme allgemein gültig ist, liegt aber ein systematischer Fehler vor, der nicht nur bei der Verformungsberechnung, sondern auch bei der Bestimmung der Bruchschnittgrößen durch Herabsetzung der rechnerisch ausnutzbaren Betongüte berücksichtigt werden müßte.

Es wäre aber auch denkbar, die vielfach beobachteten, höheren Festigkeitsstreuungen stehend am Ort hergestellter Druckglieder als vermehrtes Auftreten örtlich begrenzter Fehlstellen zu deuten. Dann wäre aber zu prüfen, ob der Beiwert γ_{M2} gegen - über Biegegliedern erhöht werden muß.

In diesem Zusammenhang ist auch der Einfluß einer ruhenden Dauerbeanspruchung auf die Festigkeit des Betons (Dauerstandeinfluß) zu diskutieren. Grundsätzlich ist der Dauerstandeinfluß bei Stabilitätsproblemen nach zwei Richtungen zu verfolgen: Es ist einerseits der Abfall der Festigkeit des Betons in Rechnung zu stellen, und andererseits sind die unter langer Belastungsdauer auftretenden Verformungen des ganzen Stabes wie auch die Spannungsumlagerungen im Querschnitt zu erfassen.

Bild 1 läßt erkennen, daß eine Änderung der Festigkeit des Betons bei überwiegender Biegebeanspruchung und symmetrisch bewehrten Rechteckquerschnitten keinen Einfluß auf das aufnehmbare Biegemoment hat. Diese Feststellung kann jedoch nicht beliebig auch auf andere Querschnittsformen oder den Fall des einseitig bewehrten Querschnitts ausgedehnt werden. Bei überwiegender Druckbeanspruchung zeigt sich ^{dagegen} sehr deutlich der Einfluß eines Abfalls der Betonfestigkeit auf die Traglast.

Versucht man, das Festigkeits- und Verformungsverhalten eines bewehrten Querschnitts unter hoher Dauerlast auf der Grundlage vorliegender Versuchserfahrungen rechnerisch zu erfassen, zeigt sich, daß bei bestimmten Querschnittsformen durch die Verlagerung der Nulllinie Tragreserven durch Heranziehung bisher nicht auf Druck beanspruchter Querschnittsteile geweckt werden. [9]. Hierdurch wird der reine Festigkeitsabfall aus Dauerbeanspruchung im Hinblick auf die aufnehmbaren Biegemomente ausgeglichen. Nicht zu vergessen ist jedoch, daß die Verformung eines Bauteils, das nach Theorie II. Ordnung zu bemessen ist, durch Spannungsumlagerung^{en} der hier beschriebenen Art erheblich zunimmt, wodurch die äußeren Schnittgrößen stark beeinflußt werden können und damit auch die Druckrandspannungen anwachsen. Die oben angedeutete Möglichkeit eines Ausgleichs des Festigkeitsabfalles infolge Dauerbelastung durch eine Spannungsumlagerung im Querschnitt würde in diesem Fall kaum eintreten können. Aus diesen Betrachtungen soll erkennbar werden, daß die mit einem Kriechvorgang unter hoher Betonspannung verbundenen Probleme der Standsicherheit von Druckgliedern unter Einbeziehung des Einflusses der Querschnittsform noch keineswegs hinreichend untersucht worden sind.

Die Berücksichtigung von Kriechverformungen erfolgt grundsätzlich nur im Gebrauchszustand mit dem Ziel, die durch Kriechen hervorgerufenen Ausbiegungsvergrößerungen^{en} zu erfassen und als geometrische Abweichungen beim eigentlichen Stabilitätsnachweis zu berücksichtigen. Kriechuntersuchungen dieser Art können naturgemäß keinen Aufschluß über das Verhalten des Tragwerks geben, wenn

eine unvorhergesehen hohe Last auf eine herabgesetzte Betongüte trifft und der vorerwähnte Kriechvorgang unter hoher Betonspannung mit der Gefahr eines Dauerstandbruches einsetzt.

Der vorliegende Entwurf einer Neufassung zu DIN 1045 zeigt Spannungs-Dehnungslinien des Betons für die Berechnung der Formänderungen und solche für die Bemessung. Die Scheitelwerte betragen $0,85 B_n$ bzw. $0,7 B_n$, doch wird nicht klargelegt, welche Unsicherheiten durch diese unterschiedliche Bewertung abgedeckt werden sollen. Es könnte sich durchaus um den Dauerstandeinfluß handeln; angesichts der eben erörterten Probleme ist es im gegenwärtigen Stand unserer Kenntnis wohl kaum gerechtfertigt, den Dauerstandeinfluß bei Verformungsrechnungen im Bereich eines Stabilitätsnachweises ganz außer acht zu lassen. Möglicherweise war als Scheitelwert des Spannungs-Dehnungs-Diagramms für Verformungsrechnungen $0,7 \cdot \beta_{wm}$ vorgesehen - also der mit dem Dauerstandeinfluß abgeminderte Mittelwert der Betonfestigkeit. Diese Festigkeitsgröße aber ist ungefähr identisch mit dem jetzt im Entwurf enthaltenen maximalen Spannungswert $0,85 \cdot B_n$. Ein anderer Gedankengang ergibt sich aus der Feststellung, daß Dauerstandeinfluß wie Einfluß einer örtlich begrenzten Fehlstelle etwa in gleichem Sinne wirken und daher gegenseitig austauschbar bzw. gemeinsam berücksichtigt werden könnten. Beide Einflußgrößen zusammen dürften durch den Teilsicherheitsbeiwert γ_{M2} und die Festigkeitsreserve zwischen Mittelwert der Betongüte und 5%-Fraktile B_n hinreichend abgegolten sein. Auch hier fehlt offensichtlich noch eine eindeutige Klärung auf der Grundlage einer Sicherheitstheorie.

4.2 Wie bereits erläutert, beschreiben die vier Faktoren v der Gleichung 1 jeweils Streubreiten einer Ursprungsgröße und werden als Teilsicherheitsbeiwerte (TSB) aufgefaßt. Der Bruchsicherheitsnachweis nach DIN 4227 oder Entwurf DIN 1045 enthält demgegenüber nur einen Sicherheitsbeiwert, der alle denkbaren Unsicherheiten umfassen und deshalb als Gesamtsicherheitsbeiwert (GSB) bezeichnet werden soll. Der Ansatz

$$v_{\text{ges}} = v_{L1} \cdot v_{L2} \cdot v_{M1} \cdot v_{M2}$$

beschreibt den Zusammenhang zwischen den Teilsicherheitsbeiwerten und dem Gesamtsicherheitsbeiwert.

Bei Verwendung eines GSB v_{ges} ergeben sich naturgemäß Vereinfachungen, die Gl. 1 in die nachstehende Form überzuführen gestatten:

$$v_{\text{ges}} \cdot S_a \begin{bmatrix} \text{Lasten im Gebrauchszustand} \\ \text{Baustoffgüte } B \end{bmatrix} \leq S_1 \begin{bmatrix} B \end{bmatrix} \quad (2)$$

Diese Gleichung ist gleichbedeutend mit

$$S_a \begin{bmatrix} v_{\text{ges}} \cdot \text{Lasten im Gebrauchszustand} \\ \text{Baustoffgüte } B \end{bmatrix} \leq S_1 \begin{bmatrix} B \end{bmatrix} \quad (3)$$

in der der Charakter des Gesamtsicherheitsbeiwertes v_{ges} als ausschließlicher Lasterhöhungsfaktor deutlich erkennbar wird.

Wie in den Überlegungen zur Sicherheitstheorie bereits mehrfach zum Ausdruck kam, muß die

Anwendbarkeit dieses Ansatzes zumindest in folgender Weise eingeschränkt werden:

- a) Die ungünstigste Beanspruchung müßte sich aus einer gleichzeitigen und gleichmäßigen Erhöhung aller Schnittgrößen (M, N, Q) innerhalb der untersuchten Schnittgrößenkombination ergeben.
- b) Eine Änderung der Festigkeit dürfte keine unproportionale Änderung innerhalb der Schnittgrößenkombination hervorrufen - auch dann nicht, wenn sich die Festigkeitsänderung nur auf Teile des Tragwerkes erstreckt.
- c) Die Verformungs- und Festigkeitseigenschaften der Baustoffe dürften keinen Einfluß auf die Höhe der äußeren Schnittgrößen haben.

Es leuchtet ein, daß die Einschränkungen b) und c) für biegebeanspruchte Bauteile aus einheitlichen Baustoffen ohne Bedeutung bleiben, solange Systemverformungen vernachlässigt werden dürfen. Auch Stahlbeton darf hier als einheitlicher Baustoff behandelt werden, sofern das Tragwerk zur Gänze aus Stahlbeton ausgeführt ist. Ein Stahlbetonbogen mit Stahlzugband müßte hingegen schon einer gesonderten Untersuchung unterzogen werden.

Innerhalb Deutschlands ist es bisher üblich, die Einhaltung der Einschränkung a) als gegeben anzusehen, obwohl im Ausland und auch im CEB (vergl. 4.1) teilweise andere Auffassungen vertreten werden, die zu unterschiedlichen TSB v_L führen, je nachdem ob es sich um Eigengewichtslasten, um Verkehrslasten oder um vorübergehend auftretende Zusatzlasten, etwa aus Wind, Erdbeben oder um Zwängungswirkungen handelt. In DIN 4227 wurde Gl. 3 als Grundlage des Bruchsicherheitsnachweises verwendet. Die in der Benützung eines GSB v_{ges} liegende Vereinfachung ergibt aber schon bei biegebeanspruchten Spannbetonbauteilen Schwierigkeiten - weil gegen das unter a) genannte Prinzip verstoßen wird. Ihre Behebung kann durch Zerlegung von v_{ges} in Teilwerte erfolgen; Rüschi/Kupfer haben hierzu geeignete Vorschläge gemacht [10].

5. Vergleich der zulässigen Lasten bei Verwendung von Teilsicherheitsbeiwerten gegenüber einem Gesamtsicherheitsbeiwert

Um die praktischen Auswirkungen der Unterschiede zwischen den beiden symbolischen Gleichungen (1) und (3) zu zeigen, werden die zulässigen Lasten einer ausmittig gedrückten Stahlbetonstütze nach diesen beiden unterschiedlichen Bemessungssystemen ermittelt und einander gegenübergestellt. Die Zahlenrechnung wurde im Rahmen einer größeren Untersuchung zur Frage der "Bemessungsverfahren von Stahlbetondruckgliedern" von meinem Mitarbeiter, Dipl.-Ing. U. Quast, mit Hilfe eigener Rechenprogramme beim Deutschen Rechenzentrum durchgeführt.

Für das Zahlenbeispiel wurden folgende Annahmen getroffen:

| Teilsicherheitsbeiwerte | | Unsicherheiten |
|-------------------------|--|---|
| Lasten | $\gamma_{L1} = 1,16$ $\gamma_{L2} = 1,16$ | Lasthöhe Rechenungenauigkeit |
| Baustoffe | Beton | Festigkeitsstreuung örtl. Fehlstelle |
| | Stahl | |
| | $\gamma_{M1} = 1,30$ $\gamma_{M1} = 1,30$ $\gamma_{M2} = 1,20$ $\gamma_{M2} = 1,00$ | |

Es ergibt sich somit:

Für den Baustoff Stahl $\gamma_{ges} = 1,16 \cdot 1,16 \cdot 1,30 \cdot 1,00 = 1,75$

für den Baustoff Beton $\gamma_{ges} = 1,16 \cdot 1,16 \cdot 1,30 \cdot 1,20 = 2,1$

weil dem Beton offensichtlich Unsicherheiten wegen örtlicher Fehlstellen eher anhaften als dem Baustoff Stahl. Damit wurde versucht, der dem CEB empfohlenen differenzierten Betrachtungsweise zu entsprechen, die dem Baustoff Beton ein höheres Maß an Unsicherheit zuweist.

Da γ_{M2} nur für den Beton als von 1,0 verschieden angesetzt worden ist, mußten - um vergleichbare Werte nach (1) und (3) zu erhalten -

in Gl. (3) unterschiedliche Betonfestigkeiten zur Bestimmung von S_a und S_1 verwendet werden; es wurde der Berechnung von S_a eine γ_{M2} -fach erhöhte Festigkeit zugrunde gelegt.

Alle weiteren Rechengrundlagen gehen aus Bild 4 hervor. Die Betonzugfestigkeit blieb außer Ansatz; als Spannungs-Dehnungsgesetz des Betons wurde nur das Parabel-Rechteckdiagramm angewandt.

Bild 5 zeigt an einigen ausgewählten Lastausmittigkeiten e/d , daß die zulässigen Lasten nach Gleichung (3) kleiner sind und mit zunehmender Stabschlankheit s/d immer stärker von den zulässigen Lasten nach Gleichung (1) abweichen. Bei $s/d = 30$, entsprechend $\lambda = \frac{s}{i} \sim 105$, beträgt diese Abweichung, wie Tafel 1 noch deutlicher zeigt, bereits 30 %; wohingegen für $s/d = 0$, Bemessung für Biegung mit Achsdruck ohne Stabilitätsnachweis, beide Bemessungssysteme praktisch das gleiche Ergebnis liefern.

Es muß somit abschließend die Frage gestellt werden, ob der Stabilitätsnachweis mit der weitestgehenden Vereinfachung der Sicherheitstheorie gemäß Gleichung (3) geführt werden soll; die Ergebnisse zeigen in diesem Falle nicht unerhebliche Abweichungen gegenüber einer Anwendung der Sicherheitstheorie im Sinne der Empfehlungen des CEB der unwirtschaftlichen Seite. In Anbetracht der beobachteten Abweichungen zwischen beiden Bemessungssystemen bei schlanken Stützen erhebt sich auch die Frage, ob die im Entwurf DIN 1045 vorgesehene hohe Genauigkeit der Rechenannahmen, besonders hinsichtlich der Verformungsgesetze des Betons, angebracht ist, wenn andererseits der gesamte Stabilitätsnachweis anhand einer so stark vereinfachten Sicherheitstheorie vorgeschrieben wird.

In der vorliegenden Zahlenrechnung wurden Annahmen über die Größe der Teilsicherheitsbeiwerte gemacht; sie stellen jedoch noch keinen hinreichend begründeten Vorschlag dar, sondern wären eingehend zu diskutieren.

6. Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Betrachtung soll die Diskussion über einige Vorschläge in der Neufassung von DIN 1045, Abschnitte 16 - 17 angeregt werden. Insbesondere wird auf folgende Punkte Bezug genommen:

- a) Die Verwendung eines Gesamtsicherheitsbeiwertes führt schon in DIN 4227 zu Schwierigkeiten; diese sind auch in DIN 1045 bei Stabilitätsnachweisen zu erwarten. Es wird daher die Einführung von Teilsicherheitsbeiwerten empfohlen. Hierbei sollte Klarheit geschaffen werden, welche Unsicherheiten durch die einzelnen Beiwerte erfaßt werden und dabei insbesondere auch gezeigt werden, wie der Dauerstandseinfluß und der Einfluß örtlicher Fehlstellen berücksichtigt werden. Darüberhinaus könnte durch Einführung von Teilsicherheitsbeiwerten die Übereinstimmung mit den Empfehlungen des CEB herbeigeführt werden.
- b) Der gleitende Sicherheitsbeiwert im vorliegenden Entwurf der Neufassung führt teilweise zu Schwierigkeiten; es wird daher empfohlen, den jetzt vorgesehenen Anstieg des Gesamtsicherheitsbeiwertes durch eine Mindest- oder Zusatzausmittigkeit zu ersetzen.

Literaturverzeichnis

- 1 Rüscher, H. "Der Einfluß des Sicherheitsbegriffs"
Schweizer Archiv, Heft 3, (1954)
- 2 Kordina, K. "Sicherheitsbetrachtungen bei Spannbeton-
konstruktionen"
Schweizer Archiv, Heft 9, (1959)
- 3 Basler, E. "Untersuchungen über den Sicherheitsbegriff
von Bauwerken"
Schweizer Archiv, Heft 4, (1961)
- 4 DAfStb DIN 1045, Beton- und Stahlbetonbau,
Bemessung und Ausführung
Entwurf März 1968
- 5 - Building Code Requirements for Reinforced
Concrete
(ACI 318 - 63)
- 6 van Leuwen, I.; "Ultimate load design of axially and eccentrically
van Riel, A.C. compressed structural members"
Heron, Heft 2 (1963), Delft
- 7 CEB Recommendations "Sécurité" und "Flambement"
12^{me} session plénière, Lausanne, April 1968
- 8 Kordina, K. "Die Grundlagen des Knicksicherheitsnachweises
im Stahlbetonbau"
Vorträge Betontag 1967, Deutscher Betonverein
- 9 Maack, P. "Der Einfluß der Zeit auf die Steifigkeit von
Stahlbetonquerschnitten"
Dissertation, Techn. Universität Braunschweig,
1968
- 10 Rüscher, H.; "Bemessung von Spannbetonbauteilen"
Kupfer, H. Betonkalender 1968, Verlag Wilh. Ernst & Sohn
Berlin/München

TAFEL 1 ZULÄSSIGE LASTEN AUSMITTIG GEDRÜCKTER STÜTZEN MIT SYMMETRISCH BEWEHRTEM RECHTECKQUERSCHNITT

$$\omega = \omega' = 0,21$$

| BEZOGENE LASTAUS- MITTIGKEIT $\frac{e}{d}$ | BEZOGENE STABLÄNGE $\frac{s}{d}$ | | | | | | |
|---|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| 0,00 | 0,626 | 0,626 | 0,626 | 0,482 | 0,303 | 0,203 | 0,146 |
| | 0,613 | 0,613 | 0,598 | 0,371 | 0,236 | 0,160 | 0,114 |
| | 1,021 | 1,021 | 1,046 | 1,299 | 1,283 | 1,268 | 1,280 |
| 0,10 | 0,493 | 0,477 | 0,414 | 0,302 | 0,188 | 0,125 | 0,088 |
| | 0,487 | 0,463 | 0,368 | 0,230 | 0,141 | 0,092 | 0,064 |
| | 1,012 | 1,030 | 1,125 | 1,313 | 1,333 | 1,358 | 1,375 |
| 0,20 | 0,394 | 0,374 | 0,316 | 0,230 | 0,152 | 0,104 | 0,075 |
| | 0,390 | 0,359 | 0,276 | 0,175 | 0,110 | 0,074 | 0,053 |
| | 1,010 | 1,041 | 1,144 | 1,314 | 1,381 | 1,405 | 1,415 |
| 0,30 | 0,323 | 0,305 | 0,256 | 0,189 | 0,130 | 0,091 | 0,067 |
| | 0,317 | 0,291 | 0,222 | 0,145 | 0,095 | 0,067 | 0,048 |
| | 1,018 | 1,048 | 1,153 | 1,303 | 1,368 | 1,358 | 1,395 |
| 0,40 | 0,272 | 0,256 | 0,215 | 0,160 | 0,113 | 0,082 | 0,062 |
| | 0,267 | 0,244 | 0,186 | 0,123 | 0,084 | 0,060 | 0,045 |
| | 1,018 | 1,049 | 1,155 | 1,300 | 1,345 | 1,366 | 1,377 |
| 0,50 | 0,235 | 0,220 | 0,184 | 0,139 | 0,100 | 0,075 | 0,057 |
| | 0,229 | 0,209 | 0,157 | 0,107 | 0,075 | 0,056 | 0,042 |
| | 1,026 | 1,052 | 1,171 | 1,299 | 1,333 | 1,339 | 1,357 |
| 0,75 | 0,164 | 0,154 | 0,129 | 0,101 | 0,077 | 0,061 | 0,048 |
| | 0,161 | 0,145 | 0,110 | 0,080 | 0,060 | 0,046 | 0,036 |
| | 1,018 | 1,062 | 1,172 | 1,262 | 1,283 | 1,326 | 1,333 |
| 1,00 | 0,118 | 0,112 | 0,096 | 0,079 | 0,064 | 0,051 | 0,042 |
| | 0,117 | 0,105 | 0,084 | 0,064 | 0,049 | 0,040 | 0,032 |
| | 1,008 | 1,066 | 1,142 | 1,234 | 1,306 | 1,275 | 1,312 |

IN DER JEWEILS OBEREN ZEILE STEHEN DIE WERTE FÜR DIE BEMESSUNG NACH GLEICHUNG (1) MIT TEILSICHERHEITSBEIWERTEN, DARUNTER DIE WERTE NACH GLEICHUNG (3) MIT EINEM GESAMTSICHERHEITSBEIWERT UND DARUNTER DIE QUOTIENTEN AUS BEIDEN WERTEN.

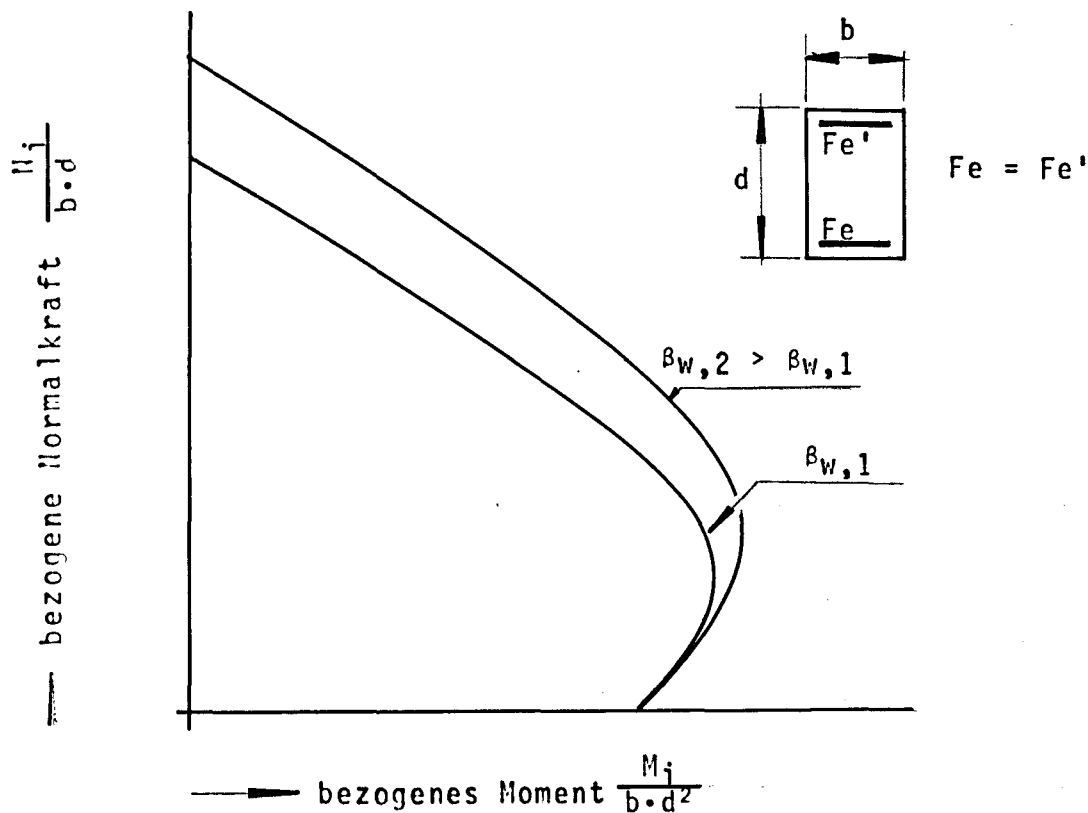


Bild 1

Einfluß der Betonfestigkeit β_w auf die Beanspruchbarkeit, die inneren Schnittgrößen N_i und M_i , eines symmetrisch bewehrten Rechteckquerschnittes.

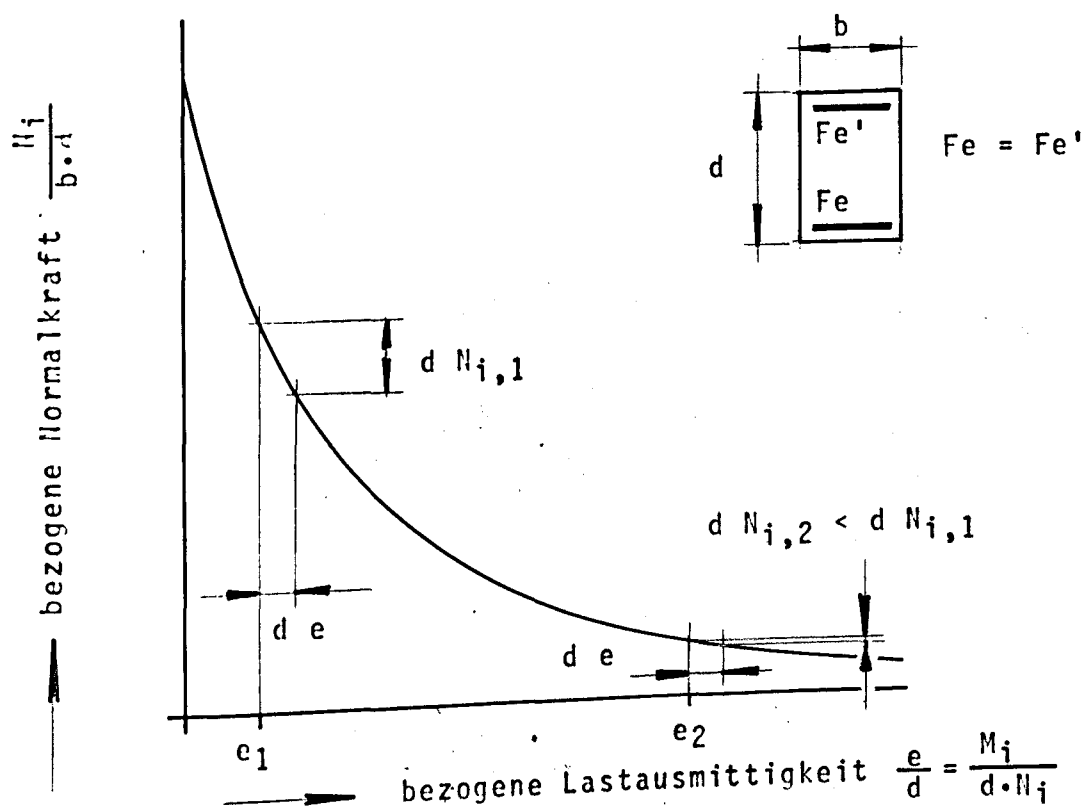


Bild 2

Auswirkung eines Fehlers der Exzentrizität $d \cdot e$ auf den Fehler der inneren Normalkraft $d \cdot N_i$ für unterschiedliche Exzentrizitäten e .

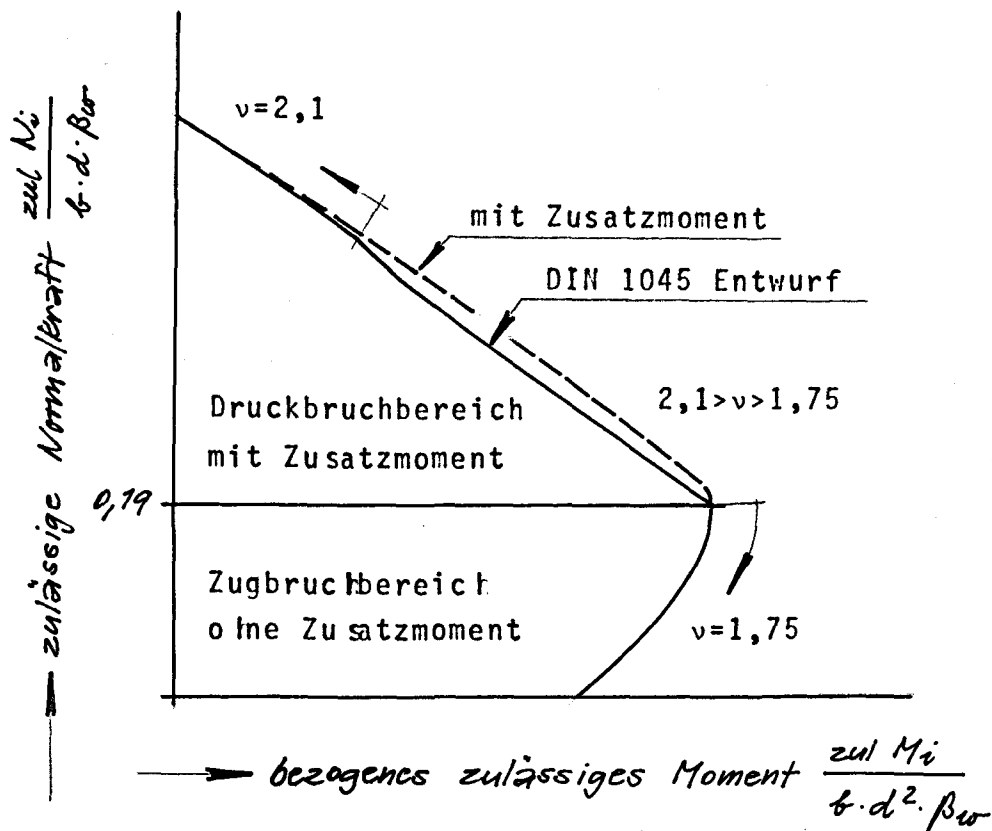


Bild 3a

Erzielung einer erhöhten Gesamtsicherheit im Druckbruchbereich durch Hinzufügen eines Zusatzmomentes $\frac{zul M}{b \cdot d^2 \cdot \beta_{sw}} = 0,13 \left(\frac{N}{b \cdot d \cdot \beta_{sw}} - 0,19 \right)$

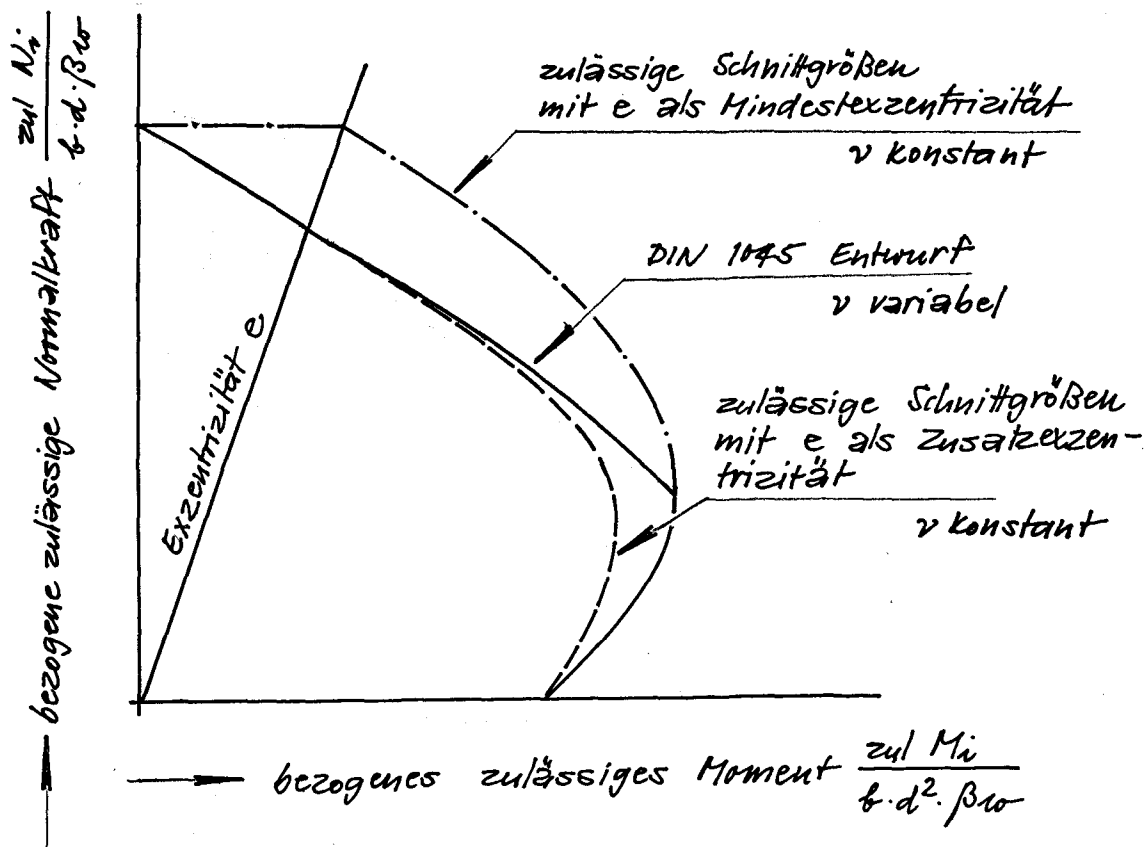


Bild 3b

Auswirkung einer Mindest- und einer Zusatzexzentrizität auf die zulässigen inneren Schnittgrößen.

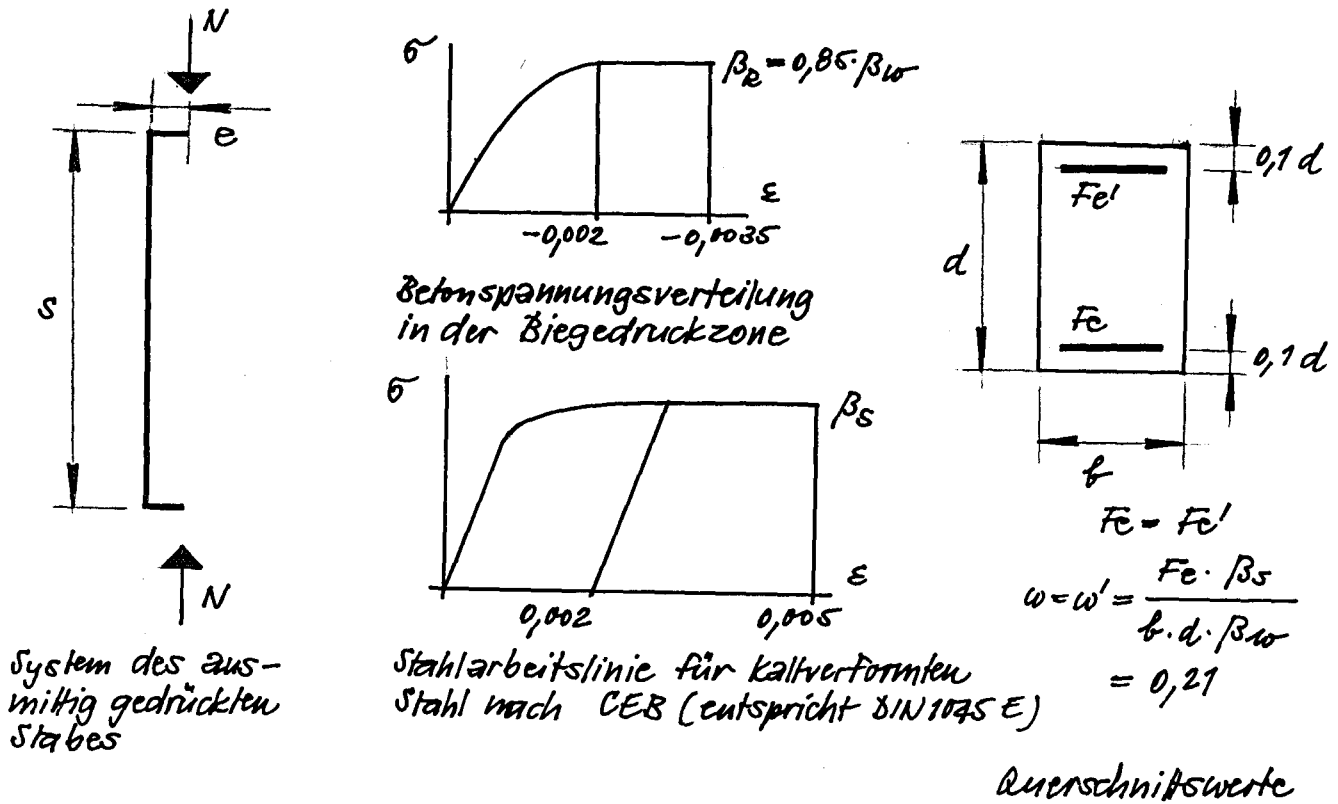


Bild 4 Erklärung der verwendeten Bezeichnungen

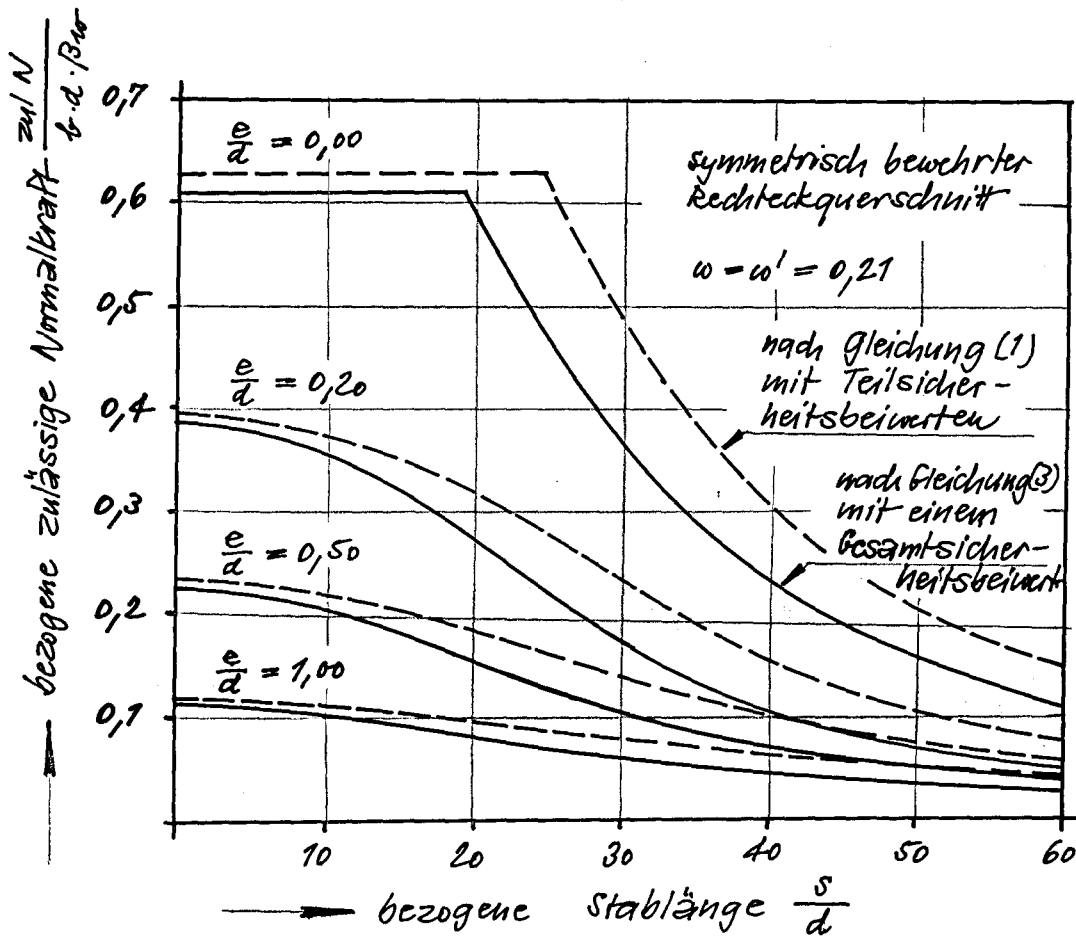


Bild 5 Zulässige Lasten ausmittig gedrückter Stützen in Abhängigkeit der bezogenen Stablänge $\frac{s}{d}$ und der bezogenen Lastausmittigkeit $\frac{e}{d}$.